

Uso da técnica fotoacústica para monitorar a perda de água na madeira

Washington Luiz de Barros Melo¹

Foto: Rubens Bernardes Filho



Introdução

Nas últimas décadas, as técnicas fototérmicas emergiram como ferramentas valiosas para caracterização óptica e térmica de uma grande quantidade de amostras, tendo grandes vantagens, em sensibilidade, sobre as técnicas tradicionais. Estas são técnicas espectroscópicas, não destrutivas e, às vezes, de caráter complementar aos métodos convencionais. Nestas técnicas, um feixe de energia radiante, tipicamente luz, pulsante em uma certa frequência é focado sobre a superfície de uma amostra. A interação da radiação modulada com a amostra absorvedora, na ausência de processo fotoquímico ou de fluorescência, leva aos processos de excitação não radioativa e ao aumento da temperatura dentro da amostra. O calor gerado periodicamente se difunde, produzindo uma distribuição de temperatura que é chamada de Onda Térmica.

Estas técnicas estão divididas em três grupos principais: i) se resultante do aumento de temperatura e uma variação de pressão é detectada, então, é chamada de fotoacústica (PA) (ROSENCWAIG; GERSHO, 1976); ii) se o aumento de temperatura é diretamente detectado, então chama-se de fotopiroelétrico (PPE) ou, ainda, calorimétrica (COUFAL et al., 1987); iii) se há variações do índice de refração e da densidade com a temperatura, então forma-se a base das técnicas termo-ópticas (TO) (BIALKOWSKI, 1996).

A técnica fotoacústica é baseada no efeito

fotoacústico descoberto por Alexander Graham Bell em 1880 (BELL, 1880). A partir da década de 70, com os trabalhos de A. Rosencwaig e A. Gersho (1976), além de outros pesquisadores, a técnica fotoacústica tomou grande impulso como técnica espectroscópica aplicada a sólido. Depois, outros pesquisadores continuaram desenvolvendo modelos matemáticos para melhor entender e aplicar esta técnica em variados meios, ampliando desta forma o espectro de ação da técnica (McDONALD; WETSEL JUNIOR, 1978; MANDELIS; ROYCE, 1980; CESAR et al., 1979; MELO, 1992; MELO; FARIA, 1995). Atualmente, a técnica fotoacústica é empregada em diversos campos da ciência, tais como: física, química, biologia, agronomia, engenharias, entre outras.

Aplicando na análise de madeiras, Lima e colaboradores (LIMA et al., 2000) usaram a técnica fotoacústica para determinar a permeabilidade de madeiras. Verificaram alteração no sinal fotoacústico devido à pressão de vapor, isto demonstrou a permeabilidade da madeira à água. Uma relação sinal versus vapor e permeabilidade foi obtida.

Nos últimos anos, o espectrômetro fotoacústico se tornou um instrumento mais eficiente na obtenção dos dados e no tratamento destes. Um moderno espectrômetro usa uma fonte de luz de alta potência luminosa ou um laser, um modulador mecânico ou eletro-óptico (chopper), um microfone sensível ou um transdutor piezelétrico e um amplificador lock-in aliado a um

¹Físico, Dr. em Física. Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua 15 de Novembro 1452, São Carlos, SP, Brasil, 13560-970
E-mail: wlbmelo@cnpdia.embrapa.br

computador. A Fig. 1 apresenta um diagrama esquemático do espectrômetro fototérmico da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

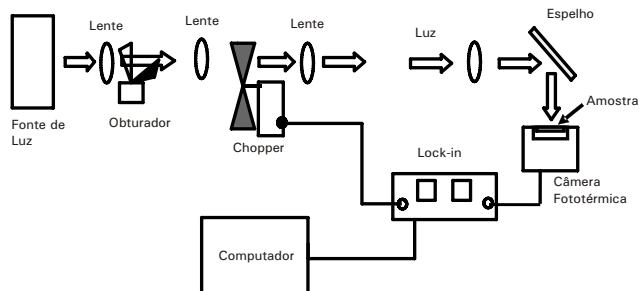


Fig. 1 diagrama do espectrômetro fototérmico da Embrapa Instrumentação.

A câmara fotoacústica usada neste trabalho está mostrada na Fig. 2.

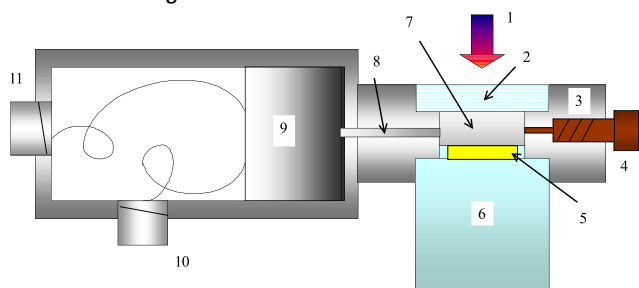


Fig. 2 - Detalhe da câmara fotoacústica. (1) Luz, (2) Janela transparente vidro, (3) Corpo da câmara, (4) Válvula de descompressão, (5) Amostra, (6) Suporte de amostra, (7) Ar, (8) Duto de ar, (9) Microfone, (10 e 11) Conectores BNC para alimentação e saída do sinal elétrico.

Material e método

Neste trabalho, usou-se a técnica fotoacústica para monitorar a evaporação da água induzida pela absorção da luz branca na madeira - *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. *Peroba rosa*. Vários discos de madeira, seca ao ar livre, foram preparados com as dimensões de 12mm de diâmetro e 3,5mm de espessura, peso da matéria seca foi de 0,2366g.

Os experimentos foram divididos em duas etapas: i) medições fotoacústicas da madeira seca; ii) medições fotoacústicas da madeira embebida em água. No primeiro caso, a amostra foi colocada dentro da câmara fotoacústica, iluminada frontalmente por luz branca com potência suficiente para aquecê-la, sem lhe causar qualquer dano, tal como a queima. A frequência de modulação foi cerca de 20Hz e com constante de tempo de aquisição de 1 segundo. No segundo caso, deixou-se a amostra imersa em água durante dois dias, esta adsorveu cerca de 87,3% do seu peso seco em água, ficando o peso total de 0,4433g, correspondendo a 0,2067g de água adsorvida. Neste caso, o sinal fotoacústico dependeu da absorção óptica da madeira e da pressão de vapor da água. Pesou-se a amostra antes e depois para cada medição, assim determinando a massa de água evaporada.

Resultado e Discussão

Para a madeira seca, a Fig. 3 apresenta o sinal

fotoacústico versus tempo. Nesta figura o sinal fotoacústico é diretamente proporcional à absorção óptica da madeira. O decaimento indica que a variação de pressão do gás no interior da câmara está modificando, isto pode ser devido à presença dos poros abertos na madeira.

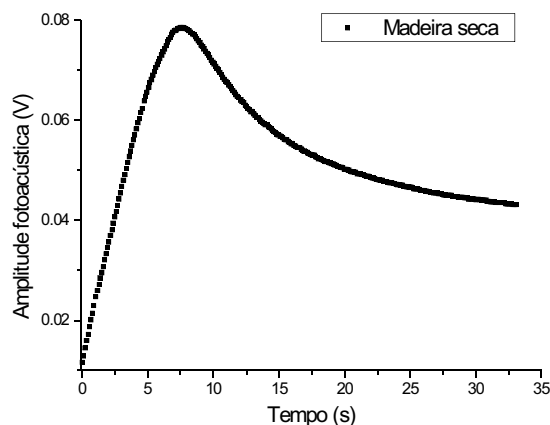


Fig. 3 Sinal fotoacústico versus tempo obtido da amostra de madeira.

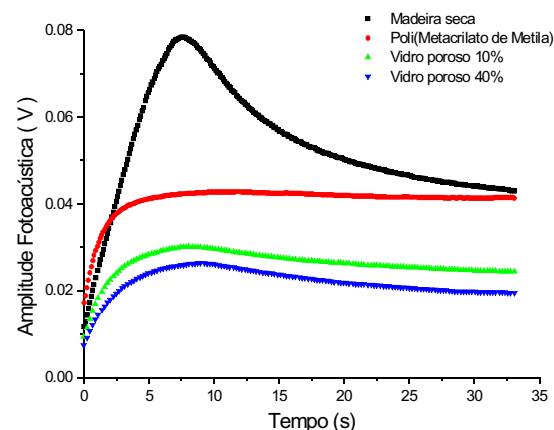


Fig. 4 Sinais fotoacústicos da madeira seca, polímero PMMA e vidros porosos.

Para comparação, as curvas na Fig. 4 foram obtidas nas mesmas condições, ilustram os comportamentos entre os materiais sólidos e sólido-porosos. As curvas devido à madeira e aos vidros porosos apresentaram decaimentos ao longo do tempo, enquanto que o polímero e outros materiais (metais não mostrados na figura) não apresentaram decaimentos significativos quando comparados com aqueles materiais porosos. As amplitudes diferem devido à madeira ter pigmentos absorvedores, enquanto o polímero e o vidro são claros ou relativamente transparentes.

No início das medições a madeira embebida apresentou as superfícies com brilho devido à água. Após a medição, a superfície frontal que foi iluminada já não mostrou brilho, mas uma superfície difusa indicando evaporação. Entre cada medição, esperou-se cerca de 5 minutos para realizar uma outra. Depois desse tempo de espera, verificou-se o retorno do brilho, evidenciando um fenômeno de difusão da água para a área que sofreu evaporação. Durante o transcorrer do experimento ficou cada vez mais difícil de se observar esta difusão.

A Fig. 5 apresenta algumas curvas obtidas desde a amostra saturada até quando inicia o comportamento

similar ao da amostra seca. O quadro interno à figura contém as massas iniciais (P.I.) e finais (P.F.) em cada medição. Deste quadro, pode-se observar que durante todo o processo de medição, a amostra perdeu 0,0751g de água, que é equivalente a 36,3% da água adsorvida.

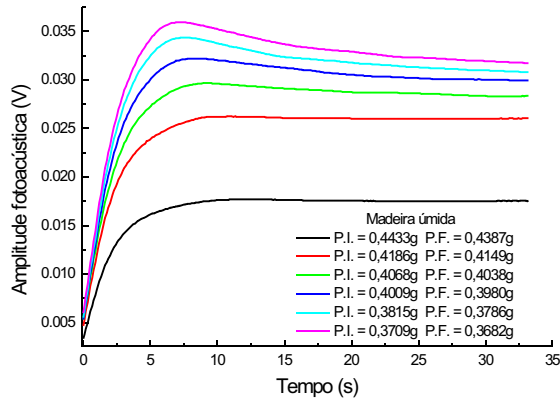


Fig. 5 Sinais fotoacústicos para amostra de madeira embebida de água e sua eliminação por evaporação induzida.

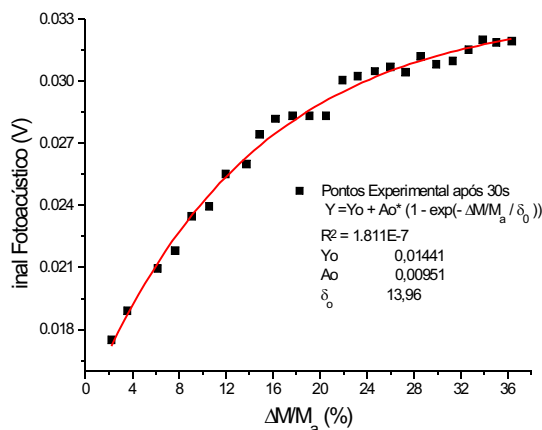


Fig. 6 Sinal fotoacústico versus percentual de água evaporada.

À medida que a amostra perdeu água, a matéria seca passou a contribuir dominantemente para o sinal fotoacústico. Comparando as Fig. 3 e 5, pode-se notar que há a tendência para formação do máximo visto na amostra seca. Observa-se, ainda, que o sinal cresceu como um todo à medida que a amostra perdeu água em cada medição. A água evaporada deixou poros abertos vazios. Dentro da câmara ficou um leve orvalho que foi removido antes de cada medição.

Os pontos de todas as medições realizadas, tomados após 30 segundos, geraram a curva mostrada na Fig. 6. Nesta figura estão relacionados os sinais fotoacústicos versus percentual de água evaporada. A linha contínua é o ajuste obtido pela equação mostrada no quadro dentro da figura. Esta equação expressa o comportamento do sinal fotoacústico com a perda de água, sendo $\Delta M = (PI - PF_n)$, a diferença entre os pesos inicial e na medição n -ésima; $M_a = (PI - PF)$ é a diferença entre o peso inicial e peso na medição, vale 0,0751g. Percebe-se na Fig. 6 que a constante de evaporação de água para a madeira analisada foi cerca de 14%. Isto significa que se pode relacionar o sinal fotoacústico à quantidade de água evaporada para uma determinada madeira. A constante de evaporação depende da energia

luminosa incidente, portanto, o valor obtido está dependente das condições experimentais.

Conclusão

Este trabalho demonstra que a técnica fotoacústica tem potencialidade para detectar a evaporação de água na madeira, podendo ser usada na indústria de papel e celulose. Um instrumento de medição da quantidade de água em madeira forneceria informações do teor de água nas toras, com isto minimizaria os custos de secagem e sua otimização, além de outras operações inerentes ao processo industrial do papel. Um instrumento desenvolvido para esta finalidade deve ser calibrado conforme o tipo de madeira que se deseja medir e ter o controle da energia luminosa incidente ou um dispositivo de referência de normalização.

Os resultados apresentados são preliminares e necessitam de maiores aprofundamentos para entender os mecanismos que envolvem a eliminação de água, a interação da luz com a madeira e os sinais fotoacústicos gerados.

Referências

- BELL, A. G. Upon the production of sound by radiant energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, London, v. 11, p. 510-528, 1880.
- BIALKOWSKI, S. E. *Photothermal spectroscopy methods for chemical analysis*. New York: J. Wiley, 1996. 584 p. (Chemical Analysis, 134).
- CESAR, C. L.; VARGAS, H.; MEYER, J. A.; MIRANDA, L. C. M. Photoacoustic effect in solids. *Physical Review Letters*, New York, v. 42, n. 23, p.1570-1573, 1979.
- COUFAL, H. J.; GRYGIER, R. K.; HORNE, E. D.; FROMM, J. E. Pyroelectric calorimeter for photothermal studies of thin films and adsorbates. *Journal of Vacuum Science and Technology*, New York, v. A5, n. 5, p. 2875-2889, 1987.
- LIMA, C. A. S.; LIMA, M. B. S.; MIRANDA, L. C. M.; BAEZA, J.; FREER, J.; REYES, N.; RUIZ, J.; SILVA, M. D. Photoacoustic characterization of bleached wood pulp and finished papers. *Measurement Science & Technology*, Bristol, v. 11, p. 504-508, 2000.
- MANDELIS, A.; ROYCE, B. S. H. Relaxation time measurements in frequency and time-domain photoacoustic spectroscopy of condensed phases. *Journal of the Optical Society of American*, Rochester, v. 70, n. 5, p. 475-480, 1980.
- MCDONALD, F. A.; WETSEL JR., G. C. Generalized theory of photoacoustic effect. *Journal of Applied Physics*, New York, v. 49, p. 2313-2322, 1978.

MELO, W. L. B. *Contribuições às técnicas de espectroscopia fototérmica e aplicações a materiais poliméricos*. 1992. 120 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Física e Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

MELO, W. L. B.; FARIA, R. M. Photoacoustic Procedure for measuring Thermal Parameters of Transparent Solids. **Applied Physics Letters**, New York, v. 67, n. 26, p. 3893 1995.

ROSENCWAIG, A.; GERSHO, A. Theory of Photoacoustic Effect with Solids. **Journal of Applied Physics**, New York, v. 47, p. 64-69, 1976.

Comunicado Técnico, 76

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua Vinte e Nove de Abril, 1542 - Caixa Postal 741
EP 13560-970 - Brasília - DF
Fone: 16 3374 2477
Fax: 16 3372 5958
E-mail: sac@cpnpdia.embrapa.br
cpnpdia.embrapa.br

1a. edição
1a. impressão 2006 tiragem 300

Comitê de Publicações

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Membros: Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso

Membro Suplente: Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

Expediente

Revisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Foto da capa: Rubens Bernardes Filho
Diagramação eletrônica: Valentim Monzane